

J010-3477  
[Producer of Rocking  
Movements for Seismic Uses]

---

### Schwingungserzeuger für seismische Anwendungen

---

Die Erfindung betrifft einen Schwingungserzeuger für seismische Anwendungen, bestehend aus einem Gehäuse, in welchem mit Wechselstrom oder elektrischen Impulsen beaufschlagte Spulen untergebracht sind und welches über ein Koppellement an das Untersuchungsobjekt angekoppelt ist.

In der Rohstoffexploration werden seismische Vibrationsverfahren zur geophysikalischen Erkundung von tiefen Untergrundstrukturen und Materialeigenschaften eingesetzt. Dabei werden Longitudinal- und Transversalwellen verwendet. Die wesentlichen Vorteile dieses Verfahrens liegen im steuerbaren Signal, der hochgradigen Reproduzierbarkeit, der exakten Bestimmung der Signallaufzeiten und den im Vergleich zu Impulsquellen (z.B. Sprengstoff) geringen Schäden und Umweltgefährdungen bei der Anwendung.

Die gleiche Methodik eignet sich auch für die Erkundung des oberflächennahen Untergrundes bis zu einige hundert Metern Tiefe für ingenieurgeophysikalische Aufgabenstellungen. Allerdings sind die in der Exploration zur seismischen Anregung verwendeten Geräte für die oberflächennahe Anwendung in der Regel zu groß, zu schwer und durch die üblicherweise verwendete servohydraulische Antriebstechnik technisch zu aufwendig,

GGA

Seite 2

um sie bei vertretbaren Kosten in einem erheblich verkleinerten Maßstab einsetzen zu können.

Für die oberflächennahen Aufgabenstellungen mit Vibrationsverfahren sind elektrische Antriebssysteme besser geeignet, da sie erheblich weniger technischen Aufwand erfordern. Derartig angetriebene Schwingungserzeuger werden erfolgreich z.B. in der stationären Materialprüfung eingesetzt. Bei diesen Systemen werden Tauchspulsysteme (Auslenkung einer Spule im Ringkernmagnet) ähnlich einem dynamischen Lautsprecher zur Wandlung von elektrischer in mechanische Energie verwendet. Technisch problematisch ist dabei die präzise reibungsfreie Führung der Tauchspule im Ringkern bei auftretenden Radialkräften. Weiterhin bedingen leistungsfähige permanente Ringkernmagnete ein hohes Gewicht.

Aus dieser Technik übernommene Geräte werden auch für die oberflächennahe geophysikalische Erkundung schon erfolgreich verwendet. Allerdings sind die auf dem Markt erhältlichen Systeme durch ihr vergleichsweise hohes Gewicht (ca. 100 kg für einen Transversalwellen-Anreger ohne Versorgungseinheit) im Geländeeinsatz unhandlich. Unter Beachtung zulässiger Traggewichte für Personen sind im Gelände mindestens 4 Personen für den Transport notwendig. Weiterhin führt die notwendige Versorgung mit 220 bzw. 110 Volt Netzspannung bzw. Stromgeneratoren zu logistischen und aufgrund von möglichen induktiven Störströmen auch zu verfahrensbedingten Nachteilen. In diesem Zusammenhang ist auch eine Umweltgefährdung durch die lebensbedrohlich hohe Spannung bei eventuell beschädigten Kabeln nicht ausgeschlossen.

Die Erfindung beseitigt die Nachteile des Standes der Technik. Es ist die Aufgabe der Erfindung, einen leicht tragbaren und leicht handhabbaren Schwingungserzeuger zu schaffen, mit dem

GGA

Seite 3

sich Schwingungen für die geophysikalische Erkundung oberflächennaher Untergrundstrukturen bis in eine Tiefe von etwa 150 Metern durchführen lassen.

Die Erfindung besteht darin, daß in dem äußeren Gehäuse des Schwingungserzeugers ein inneres Gehäuse untergebracht ist, daß das äußere Gehäuse auf gegenüberliegenden Seiten zwei Spulenkerne trägt, auf denen je eine Spule verschiebbar gelagert ist, und daß die beiden Spulen durch das innere gemeinsame Gehäuse miteinander verbunden sind, wobei die beiden Spulen abwechselnd mit elektrischer Energie beaufschlagt sind.

Beaufschlagt man nun eine Spule in ständigem Wechsel zunächst mit dem positiven Wellenanteil eines Wechselstrom-Steuersignals und die andere Spule mit dem negativen Wellenanteil, so ergibt sich eine zwangsgesteuerte Schwingungsbewegung der Reaktionsmasse in Abhängigkeit von der angelegten Wechselstromfrequenz. Die gleiche Wirkung ergibt sich bei abwechselndem Anlegen einer Gleichspannung an den beiden Spulen. Über das Gesetz von Actio und Reactio überträgt sich diese Bewegung auf das Koppellement und ermöglicht so die Einleitung der Schwingungsbewegung in das Untersuchungsobjekt.

Abweichend von dem üblicherweise zur elektromechanischen Schwingungswandlung verwendeten Tauchspulsystem basiert das erfindungsgemäße System auf der Funktionsweise eines Weicheiseninstruments, wie es z.B. auch bei elektrisch gesteuerten Magnetventilen verwendet wird. Zur Erzeugung einer gegenläufigen Bewegung werden zwei dieser Funktionselemente gegengeschaltet kombiniert. Die gekoppelten Spulenelemente und das sie umgebende innere Gehäuse bilden dabei die bewegliche Reaktionsmasse (träge Masse). Die zu magnetisierenden Spulenkerne aus magnetisch weichem Material sind mit dem äuße-

GGA

Seite 4

ren Gehäuse (das aus leichtem und gut wärmeleitendem Material, vorzugsweise aus Aluminium hergestellt ist) fest verbunden, auch um eine ausreichende Ableitung der durch Wirbelströme in den Kernen verursachten Wärme zu ermöglichen. Prinzipiell ist als Alternative eine vertauschte Anordnung von Spulenelementen und Kernen ebenfalls möglich, allerdings wird dann die Ableitung der in den Kernen entstehenden Wärme problematisch. Das als Koppellement zum Untersuchungsobjekt fungierende äußere Gehäuse wird je nach Bedarf über eine Reibungskopplung, eingestochene Rechen oder eine Verschraubung unter elastischen Aspekten kraftschlüssig mit dem Untersuchungsobjekt verbunden.

Da es für die Funktionsweise eines Weicheiseninstruments unerheblich ist, in welcher Richtung der Strom durch die Spule fließt, sind jeweils ein Pol jeder Spule zusammengeschaltet, der als Masse fungiert. Wird nun eine Spule über den zweiten Pol der Spule mit Strom beaufschlagt, so wird der magnetisch weiche Kern (ferromagnetisch) in dieser Spule magnetisiert und mit großer Kraft in das Magnetfeld der Spule hineingezogen. Dies führt zu einer Bewegung der Reaktionsmasse zu dieser Kernseite. Beim Abschalten des Stroms setzt diese Kraftwirkung schlagartig aus. In identischer Weise wirkt die zweite Spule für die entgegengesetzte Bewegungsrichtung. Die Führung des Spulenelements erfolgt über die zylindrischen Kerne durch ein dünnwandiges Messingrohr (diamagnetisch) im Inneren der Spulenkörper, wobei der Übergang als Gleitpassung mit Dauerschmiermittel ausgelegt ist. Auf diese Weise können Radialkräfte in erheblicher Größenordnung aufgenommen werden. Zwei zwischen den Spulenelementen und den Kernen bzw. alternativ zwischen den Spulenelementen und dem Koppelgehäuse angeordnete Federn dienen zur Positionierung der Reaktionsmasse in der Nulllage bei abgeschaltetem Steuersignal. Die Federkräfte liegen um Größenordnungen unter den elektromag-

GGA

Seite 5

netisch initiierten Kräften und beeinflussen diese praktisch nicht. Zur Vermeidung eines dämpfenden Luftpaketes im Kernkopf-raum ist dieser über einen Kanal entlüftet.

Die Steuerelektronik des Gerätes vertellt nun in Abhängigkeit von Polarität und Amplitude eines eingespeisten Steuersignals den anliegenden Versorgungsstrom (z.B. Batterie, 12-24 Volt) an die beiden Spulen. Auf diese Weise läßt sich die mechanische Bewegung in Amplitude und Frequenz modulieren. Für das hier beschriebene Gerät wird vorwiegend ein Rechteck-Steuersignal verwendet, da aufgrund der Massenträgheit die genaue Amplitudenform des Steuersignals von untergeordneter Bedeutung ist. Die Massenträgheit des mechanischen Systems formt aus dem frequenzmodulierten Rechteck-Steuersignal eine sinusförmige mechanische Bewegung. Zur Regelung der mechanischen Kräfte kann auch die Pulsbreite des Steuersignals verwendet werden.

Besondere Vorteile dieses Funktionsprinzips sind:

- es werden keine Permanentmagnete benötigt, woraus geringe Massen und Abmessungen resultieren,
- die resultierende Kraft ist quadratisch proportional zum initiierenden Strom,
- bedingt durch die niedrige Versorgungsspannung von vorzugsweise 12-24 Volt ist eine Umweltgefährdung im Geländebetrieb praktisch ausgeschlossen.

Der Aufbau dieses Schwingungserzeugers wird besonders einfach und seine Arbeitsweise von radialen Störungen unabhängig, wenn zwischen den Spulenkernen und den Spulen eine Hülse als Gleitpassung aus einem solchen Material angeordnet ist, welches gute Gleiteigenschaften aufweist und magnetisch neutral (z.B. diamagnetisch) ist. Vorzugsweise ist eine Messinghülse als Gleitpassung angeordnet.

GGA

Seite 6

Dieser Schwingungserzeuger erhält auch dadurch einen leicht herstellbaren Aufbau, daß das innere Gehäuse an seinen beiden Stirnseiten je einen Hohlraum aufweist, welcher jeweils von der Spule umgeben ist und in welchen die Spulenkern hineintragen.

Dabei ist es aus Gründen des einfachen zweckmäßigen Aufbaus dieses Schwingungserzeugers vorteilhaft, wenn der Hohlraum, welcher jeweils von der Spule umgeben ist und in welchen die Spulenkern hineintragen, nach innen durch einen Boden abgeschlossen ist, der ein Teil des inneren Gehäuses ist.

Für die Nullagenjustierung dieses Schwingungserzeugers ist es vorteilhaft, wenn stirnseitig zwischen den Spulenkernen und dem inneren Gehäuse je eine Feder angeordnet ist. Durch eine geeignete Wahl der Nulljustierfedern können auch von außen einwirkende statische Kräfte (z.B. Erdanziehung) bei nichthorizontaler Positionierung des Schwingungserregers kompensiert werden.

Um diesen Schwingungserzeuger mit unterschiedlichen Schwingungsmassen einsetzen zu können, ist es vorteilhaft, wenn das innere Gehäuse einen Raum für eine einbringbare Zusatzmasse aufweist.

Um diesen Schwingungserzeuger in einfacher Weise wirkungsvoll arbeiten zu lassen, ist es zweckmäßig, daß die Spulen aus einem elektronischen Steuergerät gespeist sind, welches an die Spulen zeitlich alternierende elektrische Schwingungen oder Impulse abgibt.

Um die Schwingungen dieses Schwingungserzeugers den erforderlichen Meßbedingungen und Meßobjekten anpassen zu können, ist es zweckmäßig, daß zunächst das äußere und/oder das innere Gehäuse mit einem Beschleunigungsgeber versehen sind,

GGA

Seite 7

um dann aus den Beschleunigungsmeßwerten anschließend eine günstige Einstellung des Steuerungsgerätes vornehmen zu können.

Für diesen Schwingungserzeuger ist es günstig, wenn die Spulenkerne aus einer magnetisch weichen Metallegierung bestehen.

Um bei diesem Schwingungserzeuger ungebremste und ungedämpfte Schwingungen zu erhalten, ist es vorteilhaft, wenn die Spulenkerne mit einem Lüftungskanal versehen sind, der sich vom Kernkopfraum in das äußere Gehäuse erstreckt.

Das spezielle Einsatzgebiet dieses Schwingungserregers ist die oberflächennahe seismische Erkundung bis vorzugsweise 150 m Eindringtiefe mit künstlichen Signalquellen, er kann aber auch in der Materialprüfung verwendet werden. Der Schwingungserreger erzeugt eine von einem elektrischen Steuersignal vorgegebene frequenzmodulierte mechanische Transversalschwingung mit definierter Länge und Modulation vorzugsweise im Frequenzbereich von 1 Hz bis 300 Hz. Der so erzeugte Wellenzug breitet sich als elastische Welle (Scherwelle) mit materialtypischer Geschwindigkeit (Scherwellengeschwindigkeit) im Untersuchungsobjekt aus, wird gebrochen bzw. reflektiert und von geeigneten, am Untersuchungsobjekt angebrachten Sensoren (Geophonen bzw. Beschleunigungsaufnehmern) registriert und in digitaler Form gespeichert. Anschließend erfolgt eine Kreuzkorrelation dieser registrierten Signale mit einem identisch modulierten Korrelationsoperator, der zur Vermeidung von Oberwellen in der Regel sinusförmig ausgebildet ist. Das Ergebnis dieser Operation ist ein impulsförmiges Signal, über dessen Laufzeitverzögerung gegenüber dem Initialsignal mittels des Wellenweges die Materialgeschwindigkeit und Materialstruktur ermittelt werden kann.



GGA

Seite 8

Bedingt durch die elektrische Steuerung und elektromechanische Wandlung ist das Initialsignal hochgradig reproduzierbar, so daß ein Stapeln beliebig vieler Signalanregungen ohne Qualitätsverlust möglich ist. Durch das Korrelationsverfahren wird ein exakter zeitlicher Abgleich mit dem Steuersignal und dem mittels Beschleunigungsaufnehmern abgegriffenen Bewegungsverhalten des Schwingers erzielt, so daß eine gegenüber Impulsverfahren erheblich genauere Geschwindigkeitsermittlung möglich ist. Durch die zeitliche Dehnung des Signals treten bei Anregung nur geringe Momentankräfte auf, die eine praktisch zerstörungsfreie Objektuntersuchung ermöglichen.

Der erfindungsgemäße Schwingungsgeber kann verschiedene Befestigungsmittel zur Ankopplung an das Untersuchungsobjekt bzw. an den Untergrund aufweisen.

Zur Ankopplung des Schwingungserzeugers kann z.B. an welchen Untergrund das Befestigungsmittel Rechen, bei Fels ein an diesen verschraubtes Winkelblech zum Einsatz kommen.

Der Schwingungserreger kann insbesondere eingesetzt werden bei

- reflexionsseismischen Verfahren,
- refraktionsseismischen Verfahren;
- vertikalseismischen Verfahren (VSP),
- tomographiseismischen Verfahren.

Das Wesen der Erfindung ist nachstehend anhand eines in der Zeichnung schematisch dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Die Zeichnung zeigt ein Blockschaltbild des erfindungsgemäßen Schwingungserzeugers.

Das nachfolgend beschriebene und in der Zeichnung gezeigte Gerät ermöglicht die frequenzmodulierte Anregung von Trans-



GGA

Seite 9

versalwellen vorzugsweise im Frequenzbereich von 1-300 Hz aus einer Gleichstrom-Energiequelle unter Verwendung z.B. einer handelsüblichen 12 V Fahrzeugbatterie. Dabei ist das Gerät mit einem Eigengewicht von ca. 5 kg problemlos von einer Person zu transportieren.

In einem äußeren Gehäuse 1 sind auf gegenüberliegenden Seiten Spulenkern 2 mit Hilfe von Verschraubungen 3 eingebaut. Auf diesen Spulenkernen 2 gleiten Messinghülsen 4, die von Spulen 5 umgeben sind und die Teile eines inneren Gehäuses 6 sind.

Die Spulen 5 sind aus dem Steuergerät 7 über elektrische Leitungen 8 abwechselnd zeitlich alternierend beaufschlagt. Die Spulen 5 sind beide über je ein Kabel 9 mit der elektrischen Masse 10 verbunden.

Die Spulen 5 als Bestandteile des inneren Gehäuses 6 schwingen im Betrieb ständig hin und her. Die von den Spulen umgebenen Hohlräume 11, in die die Spulenkern 2 eingreifen, müssen be- und entlüftet werden, wenn die Schwingung des inneren Gehäuses 6 frei und ungedämpft erfolgen soll. Für diese Be- und Entlüftung sind in den Spulenkernen 2 Kanäle 12 vorgesehen. Die Be- und Entlüftung könnte aber auch durch Löcher in den Böden 13 der Hohlräume 11 erfolgen. Federn 14 zwischen den Böden 13 und den Stirnselten der Spulenkern 2 dienen zur Festlegung einer Nullstellung des inneren Gehäuses 6.

Das innere Gehäuse 6 weist zwischen den beiden Hohlräumen 11 einen Raum 15 für die Einbringung einer Zusatzmasse auf. Sowohl im inneren Gehäuse 6 als auch am äußeren Gehäuse 1 ist ein Beschleunigungsmeßgerät 16 angebracht. Die am äußeren Gehäuse 1 angebrachten Koppellemente 17 stellen Rechen dar, mit denen der erfindungsgemäße Schwingungsgeber an

GGA

Seite 10

ebenfalls nicht dargestellte Untersuchungsobjekt angekoppelt wird.

GGA

Seite 11

## Liste der Bezugszeichen

- 1 äußeres Gehäuse
- 2 Spulenkern
- 3 Verschraubung
- 4 Messinghülse
- 5 Spule
- 6 inneres Gehäuse
- 7 Steuergerät
- 8 elektrische Leitung
- 9 Kabel
- 10 Elektrische Masse
- 11 Hohlraum
- 12 Kanal
- 13 Boden
- 14 Feder
- 15 Raum (für einbringbare Zusatzmasse)
- 16 Beschleunigungsmeßgerät
- 17 Koppellement

GGA

Seite 12

## PATENTANSPRÜCHE

1. Schwingungserzeuger für seismische Anwendungen, bestehend aus einem Gehäuse, in welchem mit Wechselstrom oder elektrischen Impulsen beaufschlagte Spulen untergebracht sind und welches über ein Koppellement an das Untersuchungsobjekt angekoppelt ist, dadurch gekennzeichnet, daß in dem äußeren Gehäuse ein inneres Gehäuse untergebracht ist, daß das äußere Gehäuse auf gegenüberliegenden Seiten zwei Spulenkerne trägt, auf denen je eine Spule verschleubar gelagert ist, und daß die beiden Spulen durch ein inneres gemeinsames Gehäuse miteinander verbunden sind, wobei die beiden Spulen abwechselnd mit elektrischer Energie beaufschlagt sind.
2. Schwingungserzeuger nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen den Spulenkernen und den Spulen eine Gleitpassung aus magnetisch neutralem und gute Gleiteigenschaften aufweisenden Material angeordnet ist.
3. Schwingungserzeuger nach Anspruch 1,2, daß die Gleitpassung eine Messinghülse ist.
4. Schwingungserzeuger nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das innere Gehäuse an seinen beiden Stirnseiten je einen Hohlraum aufweist, welcher jeweils von der Spule umgeben ist und in welchen die Spulenkerne hineinragen.

GGA

Seite 13

5. Schwingungserzeuger nach Anspruch 4,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß der Hohlraum, welcher jeweils von der Spule umgeben ist und in welchen die Spulenkern e hineinragen, nach innen durch einen Boden abgeschlossen ist, der Teil des inneren Gehäuses ist.
6. Schwingungserzeuger nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß stirnseitig zwischen den Spulenkernen und dem inneren Gehäuse eine Feder angeordnet ist.
7. Schwingungserzeuger nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß das innere Gehäuse einen Raum für eine einbringbare Zusatzmasse aufweist.
8. Schwingungserzeuger nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Spulen aus einem elektronischen Steuergerät gespeist sind, welches an die Spulen elektrische Schwingungen oder Impulse abgibt, welche gegensinnige Polung aufweisen.
9. Schwingungserzeuger nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß das äußere und/oder das innere Gehäuse mit einem Beschleunigungsgeber versehen sind.
10. Schwingungserzeuger nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Spulenkern e aus einer magnetisch weichen Metallegierung bestehen.

GGA

Seite 14

11. Schwingungserzeuger nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Spulenkerne mit einem Lüftungskanal versehen  
sind, der sich vom Kernkopfraum in das äußere Gehäuse  
erstreckt.
12. Schwingungserzeuger nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß am äußeren Gehäuse Koppellemente zur Ankopp-  
lung an das zu untersuchende Objekt vorgesehen sind.

GGA

Seite 16

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Erfindung betrifft einen Schwingungserzeuger für seismische Anwendungen, bestehend aus einem Gehäuse, in welchem mit Wechselstrom oder elektrischen Impulsen beaufschlagte Spulen untergebracht sind und welches über ein Koppellement an das Untersuchungsobjekt angekoppelt ist. Es ist die Aufgabe der Erfindung, einen leicht tragbaren und leicht handhabbaren Schwingungserzeuger zu schaffen, mit dem sich Schwingungen für die geophysikalische Erkundung oberflächennaher Untergrundstrukturen bis in eine Tiefe von etwa 150 Metern durchführen lassen. Die Erfindung besteht darin, daß in dem äußeren Gehäuse des Schwingungserzeugers ein inneres Gehäuse untergebracht ist, daß das äußere Gehäuse auf gegenüberliegenden Seiten zwei Spulenkerne trägt, auf denen je eine Spule verschiebbar gelagert ist, und daß die beiden Spulen durch das innere gemeinsame Gehäuse miteinander verbunden sind, wobei die beiden Spulen zeitlich alternierend mit elektrischer Energie beaufschlagt sind. Beaufschlagt man nun eine Spule in ständigem Wechsel zunächst mit dem positiven Wellenanteil eines Wechselstrom-Steuersignals und die andere Spule mit dem negativen Wellenanteil, so ergibt sich eine zwangsgesteuerte Schwingungsbewegung der Reaktionsmasse in Abhängigkeit von der angelegten Wechselstromfrequenz. Die gleiche Wirkung ergibt sich bei abwechselndem Anlegen einer Gleichspannung an den beiden Spulen. Über das Gesetz von Actio und Reactio überträgt sich diese Bewegung auf das Koppellement und ermöglicht so die Einleitung der Schwingungsbewegung in das Untersuchungsobjekt. Abweichend von dem üblicherweise zur elektromechanischen Schwingungswandlung verwendeten Tauchspulsystem basiert das erfindungsgemäße System auf der Funktionsweise eines Weicheiseninstruments. Zur Erzeugung einer gegenläufigen Bewegung werden zwei dieser Funktionselemente gegengeschaltet kombiniert.